

PHYSIQUE-CHIMIE

Série **S** enseignement **Obligatoire**

DURÉE DE L'ÉPREUVE : **3 h 30** – COEFFICIENT : **6**

L'usage des calculatrices est interdit.



Le candidat doit traiter les trois exercices qui sont indépendants les uns des autres sur trois copies séparées.

Exercice I- A propos des satellites (8 points)

Exercice II- Eau d'un aquarium et santé des poissons (8 points)

Exercice III- La communication chez les baleines (4 points)

EXERCICE I. A propos des satellites (8 points)

Les parties 1, 2, 3 et 4 de cet exercice sont indépendantes.

Document 1 Satellites Géostationnaires

Le centre spatial de Kourou a lancé le 21 décembre 2005, avec une fusée Ariane 5, un satellite de météorologie de seconde génération baptisé MSG-2. Tout comme ses prédécesseurs, il est placé sur une orbite géostationnaire à 36000 km d'altitude. Opérationnel depuis juillet 2006, il porte maintenant le nom de Météosat 9.

Les satellites de seconde génération sont actuellement les plus performants au monde dans le domaine de l'imagerie météorologique. Ils assureront jusqu'en 2018 la fourniture de données météorologiques, climatiques et environnementales.

D'après plusieurs sites Internet.

Document 2 Satellites GPS

Le GPS « Global Positionning System » a été développé par le département de la défense américaine en 1978. Il a été rendu accessible au public en 1985. Il permet le positionnement précis de n'importe quel lieu quelque soit l'heure et les conditions météorologiques. Les signaux proviennent de 30 satellites artificiels évoluant à une altitude de 20 200 km et émettant des ondes électromagnétiques de fréquence 1,6 GHz. Le Conseil des Transports de l'Union européenne a lancé en 1999 en association avec l'Agence Spatiale Européenne, le projet Galileo qui doublera le système américain à partir de 2014

« A 50m, tournez à gauche ». Pour se permettre de donner des ordres aussi précis, le système GPS doit être capable de positionner la voiture avec une précision de l'ordre du mètre. Pour augmenter la précision du positionnement GPS, il faut optimiser la précision des mesures temporelles.

Un satellite GPS envoie très régulièrement un signal électromagnétique indiquant l'heure de l'émission du signal de manière très précise, ainsi que des informations sur la position du satellite. Le récepteur n'a plus qu'à comparer l'heure de réception à celle de l'émission pour calculer le temps de parcours du signal et en déduire la distance le séparant du satellite. Pour que cela soit possible, il faut que les deux horloges soient synchronisées, un décalage de 1 microseconde entre deux horloges entraîne une erreur sur le positionnement de l'ordre de **300 m**.

Les horloges embarquées dans les satellites GPS sont des horloges atomiques, la précision des mesures exigées et obtenues par le système GPS est telle qu'il n'est pas possible de rendre négligeable l'effet de dilatation du temps qui existe entre les horloges présentes à bord des satellites et celles présentes sur Terre. Sans synchronisation de ces horloges, le décalage est de 7,2 μ s en seulement 24 heures.

Eduscol

L'objectif des trois premières parties est d'étudier plusieurs étapes de la mise en orbite du satellite géostationnaire du document 1, la dernière traite de la communication avec les satellites GPS.

Certaines aides au calcul peuvent comporter des résultats ne correspondant pas au calcul à effectuer.

Partie 1. Décollage de la fusée Ariane 5

Pour ce lancement, la fusée Ariane 5 a une masse totale M . Sa propulsion est assurée par un ensemble de dispositifs fournissant une force de poussée verticale constante $\vec{F}$. Tout au long du décollage, on admet que la valeur du champ de pesanteur g est également constante. On étudie le mouvement du système { fusée } dans le référentiel terrestre supposé galiléen et on choisit un repère $(O, \vec{j})$ dans lequel $\vec{j}$ est un vecteur unitaire vertical dirigé vers le haut et porté par l'axe Oy.

À l'instant $t_0 = 0$ s, Ariane 5 est immobile et son centre d'inertie G est confondu avec l'origine O .

On utilise les notations :

a valeur de l'accélération du centre d'inertie de la fusée, avec $\vec{a} = a_y \vec{j}$

v valeur de la vitesse de son centre d'inertie, avec $\vec{v} = v_y \vec{j}$

y valeur de la position de son centre d'inertie, avec $\vec{OG} = y \vec{j}$

Données :

Masse totale de la fusée $M = 1,0 \cdot 10^6 \text{ kg}$

Force de poussée $F = 1,30 \cdot 10^7 \text{ N}$

Intensité de pesanteur $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$

1.1. Cas idéal

Dans ce cas, on supposera que seuls le poids $\vec{P}$ et la force de poussée $\vec{F}$ agissent sur la fusée. Pendant la durée de fonctionnement, on admettra que la masse de la fusée reste constante.

1.1.1. Sans faire de calcul, représenter ces forces sur un schéma pendant le décollage.

1.1.2. En appliquant une loi de Newton au système { fusée }, trouver l'expression littérale de la valeur a de l'accélération dès que la fusée a quitté le sol.

1.1.3. Calculer la valeur de cette accélération a .

1.1.4. Pendant le lancement, on suppose que la valeur de l'accélération reste constante. Déterminer l'équation horaire de la valeur $v(t)$ de la vitesse.

1.1.5. En déduire l'équation horaire de la valeur $y(t)$ de la position.

1.1.6. La trajectoire ascensionnelle de la fusée reste verticale jusqu'à la date $t_1 = 10,0 \text{ s}$. Quelle distance la fusée a-t-elle parcourue depuis son décollage ?

1.2. Cas réel

Au cours de ce lancement, Ariane 5 a en fait parcouru un peu moins de 140 m pendant les 10 premières secondes.

Citer un phénomène permettant d'interpréter cette donnée.

Dans la suite de l'exercice, on suppose que la Terre est une sphère de centre T , de masse M_T , de rayon R_T et qu'elle présente une répartition de masse à symétrie sphérique. On assimile par ailleurs le satellite à son centre d'inertie S . L'étude de son mouvement se fait dans un référentiel géocentrique supposé galiléen.

Données :

Masse de la Terre : $M_T = 6,0 \times 10^{24} \text{ kg}$

Rayon de la Terre : $R_T = 6,4 \times 10^3 \text{ km}$

Constante de gravitation universelle : $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ kg}^{-1} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$

Partie 2. Mise en orbite basse du satellite

La mise en orbite complète du satellite MSG-2 de masse $m = 2,0 \times 10^3 \text{ kg}$ s'accomplit en deux étapes. Dans un premier temps, il est placé sur une orbite circulaire à vitesse constante v_s à basse altitude h autour de la Terre et il n'est soumis qu'à la force gravitationnelle exercée par la Terre.

On choisit un repère $(S, \vec{t}, \vec{n})$ dans lequel $\vec{t}$ est un vecteur unitaire tangent à la trajectoire dans le sens du mouvement et $\vec{n}$ un vecteur unitaire perpendiculaire à la trajectoire orienté vers le centre de la Terre.

- 2.1. Donner l'expression vectorielle de la force gravitationnelle $\vec{F}_{T/S}$ exercée par la Terre sur le satellite en fonction des données.
- 2.2. En appliquant une loi de Newton, trouver l'expression du vecteur accélération $\vec{a}_s$ du centre d'inertie du satellite.
- 2.3. Sans souci d'échelle, représenter sur un schéma, à un instant de date t quelconque, la Terre, le satellite, le repère $(S, \vec{t}, \vec{n})$ ainsi que le vecteur accélération $\vec{a}_s$.
- 2.4. Déterminer l'expression de la vitesse v_s du centre d'inertie du satellite. Que peut-on conclure sur la vitesse lorsque l'altitude est basse ?

Partie 3. Transfert du satellite en orbite géostationnaire

Une fois le satellite MSG-2 placé sur son orbite circulaire basse, on le fait passer sur une orbite géostationnaire à l'altitude $h' = 3,6 \times 10^4 \text{ km}$. Ce transit s'opère sur une orbite de transfert qui est elliptique. Le schéma de principe est représenté sur la figure 6 page 7.

Le périhélie P est sur l'orbite circulaire basse et l'apogée A est sur l'orbite définitive géostationnaire.

À un moment convenu, lorsque le satellite est au point P de son orbite circulaire basse, on augmente sa vitesse de façon bien précise : il décrit ainsi une orbite elliptique de transfert afin que l'apogée A de l'ellipse soit sur l'orbite géostationnaire définitive. On utilise pour cela un petit réacteur qui émet en P , pendant un très court instant, un jet de gaz donnant au satellite l'impulsion nécessaire.

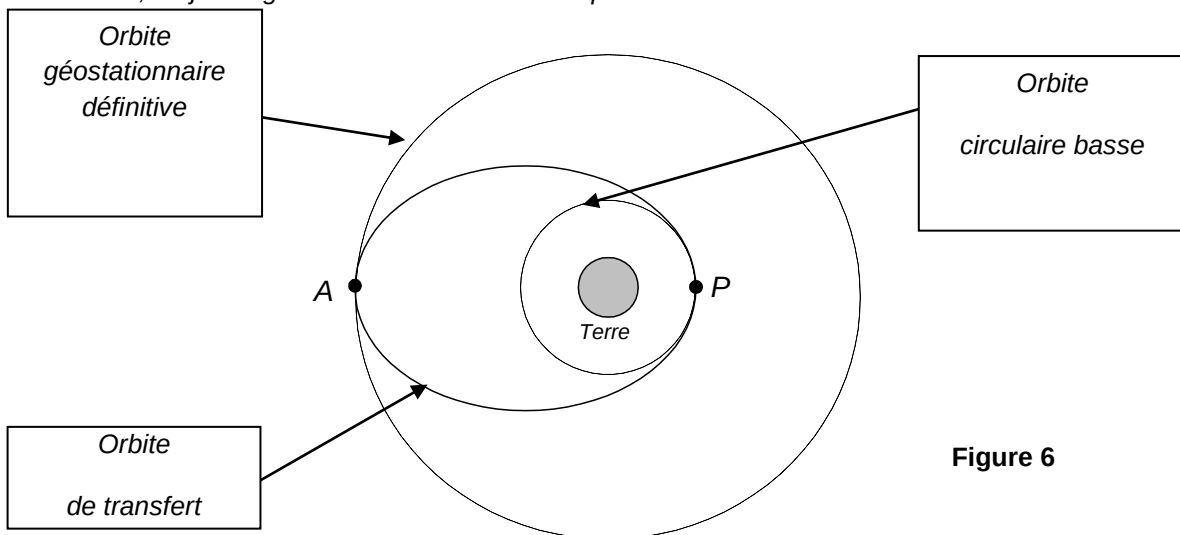


Figure 6

- 3.1. Énoncer la deuxième loi de Kepler, ou "loi des aires".
- 3.2. Montrer, en s'aidant éventuellement d'un schéma, que la vitesse du satellite MSG-2 n'est pas constante sur son orbite de transfert. Préciser en quels points de son orbite de transfert sa vitesse est :
 - maximale ;
 - minimale.

3.3. Dans le cas de cette orbite elliptique, la durée de révolution pour faire un tour complet de l'orbite vaut $T' = 10h\ 42min$.

Déterminer la durée minimale Δt du transfert du satellite MSG-2 du point P de son orbite basse au point A de son orbite géostationnaire définitive.

3.4. Le satellite étant arrivé au point A, on augmente à nouveau sa vitesse pour qu'il décrive ensuite son orbite géostationnaire définitive. Le lancement complet du satellite est alors achevé et le processus permettant de le rendre opérationnel peut débuter.

Expliquer pourquoi il est judicieux de lancer les satellites géostationnaires d'un lieu proche de l'équateur comme Kourou en Guyane.

Partie 4 - La communication entre les satellites GPS et la Terre

Donnés :

Vitesse d'un satellite GPS $v=3870\text{ m.s}^{-1}$

Relation entre durée propre et durée mesurée : $\Delta t_m = \gamma \Delta t_p$ avec $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-(\frac{v}{c})^2}}$

4.1. A quelle vitesse par rapport au satellite en mouvement, se propage l'onde électromagnétique qui permet la communication entre le satellite et la Terre ? Et par rapport à la Terre?

4.2. Vérifiez la valeur de la distance donnée dans le document 2.

4.3. La durée entre l'émission de deux signaux mesurée par l'horloge embarquée dans le satellite est exactement égale à 1s.

4.3.1. La durée mesurée par l'horloge située sur Terre, est-elle plus grande ou plus petite ? Justifiez la réponse.

4.3.2. Le calcul du décalage entre les durées mesurées par l'horloge du satellite et par l'horloge située sur Terre donne $|\Delta t_p - \Delta t_m| = 8,32 \times 10^{-11}s$ Vérifiez la cohérence de la phrase en italique à la fin du document 2, vous raisonnerez sur les ordres de grandeurs.

Aides au calcul

$\frac{3600}{24} = 1,5 \times 10^2$	$24 \times 3600 = 8,6 \times 10^4$	$\frac{1}{24 \times 3600} = 1,2 \times 10^{-5}$	$\frac{24}{3600} = 6,7 \times 10^{-3}$
-------------------------------------	------------------------------------	---	--

EXERCICE II. Eau d'un aquarium et santé des poissons (8 points)

L'aquariophilie est une passion qui touche de plus en plus d'amateurs mais aussi de néophytes. De nombreux facteurs peuvent contribuer à un déséquilibre dangereux pour la vie et la santé des poissons. Il est donc nécessaire de contrôler régulièrement la qualité de l'eau.

Le pH de l'eau est la première grandeur qu'il faut mesurer, au moins une fois par semaine, et ajuster éventuellement. En effet, certains poissons ne peuvent évoluer que dans un milieu acide (c'est le cas des poissons d'Amazonie comme les Néons ou les Tétras), d'autres dans un milieu basique (c'est le cas des poissons d'Amérique Centrale comme les Platy et les Molly). Aucun de ces poissons ne tolère une trop forte teneur en ions ammonium (NH_4^+) ou en ions nitrite (NO_2^-) : le cycle de l'azote doit donc être surveillé en évitant soigneusement la surpopulation de l'aquarium et l'excès de nourriture.

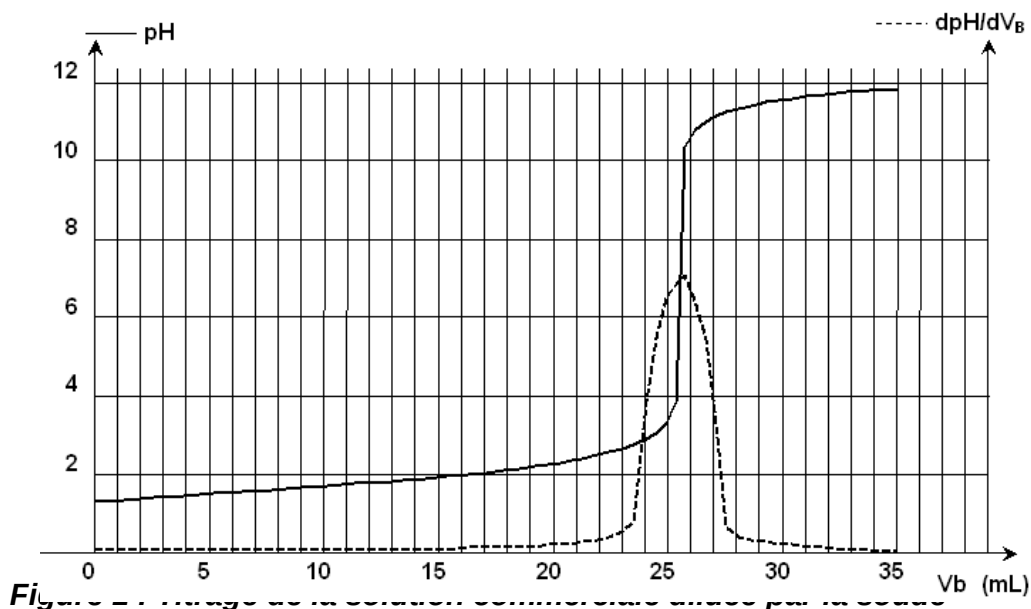
D'après "Poissons et aquariums" - Édition Larousse

L'exercice suivant est destiné à préciser certains points de ce texte. On étudie d'abord un produit commercial utilisé pour diminuer le pH de l'eau de l'aquarium ; on s'intéresse ensuite à la formation des ions ammonium.

Les parties 1. et 2. sont indépendantes.

1. Étude d'une solution commerciale destinée à diminuer le pH de l'aquarium

Sur l'étiquette du produit on peut lire que la solution commerciale S_0 est constituée d'acide chlorhydrique ($\text{H}_3\text{O}^+ + \text{Cl}^- (\text{aq})$) mais aucune concentration n'est indiquée. La transformation conduisant à l'acide chlorhydrique étant totale, la concentration c_0 de la solution commerciale est égale à la concentration en ions H_3O^+ . On cherche à déterminer cette concentration en faisant un titrage pH-métrique. Pour cela on dilue 100 fois la solution commerciale et on procède au titrage d'un volume $V_A = 10,0 \text{ mL}$ de la solution diluée S_A à l'aide d'une solution d'hydroxyde de sodium S_B ($\text{Na}^+ (\text{aq}) + \text{HO}^- (\text{aq})$) de concentration molaire en soluté apporté $c_B = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$. On obtient la courbe de la **figure 1**. On a également fait apparaître la courbe représentant la dérivée du pH en fonction du volume de soude versé.



1.1. Écrire l'équation de la réaction support du titrage.

1.2. Équivalence

1.2.1. Définir l'équivalence.

1.2.2. En déduire la valeur de la concentration des ions oxonium dans la solution diluée S_A .

1.2.3. Montrer que dans la solution commerciale, la concentration des ions oxonium $[H_3O^+]$ est voisine de $2,5 \text{ mol.L}^{-1}$. Cette valeur sera utilisée pour la suite de l'exercice.

1.3. On désire diminuer le pH de l'eau de l'aquarium et l'amener à une valeur proche de 6 alors qu'il était initialement égal à 7. Sur le mode d'emploi du fabricant on peut lire qu'il faut verser, en une fois, 20 mL de la solution commerciale dans 100 L d'eau. Pour simplifier le calcul, on considérera que le volume final reste égal à 100 L.

Quelle serait la valeur du pH final de l'eau de l'aquarium s'il n'y avait qu'une simple dilution des ions H_3O^+ ?

Aides au calcul :

$$\log 8 \approx 0,9$$

$$\log 5 \approx 0,7$$

$$10^{6,4} = 2,5 \times 10^6$$

1.4. L'eau étant toujours plus ou moins calcaire, elle contient des ions hydrogénocarbonate ($HCO_3^-(aq)$) dont il faut tenir compte. Les ions H_3O^+ introduits vont, en effet, réagir avec ces ions.

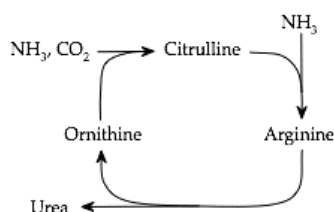
Données : couples acido-basique: $CO_2, H_2O/HCO_3^-$, H_3O^+/H_2O

1.4.1 Ecrire l'équation bilan de la réaction quasi totale modélisant cette transformation.

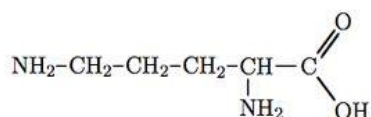
1.4.2. Quelle variation de pH cette réaction entraîne-t-elle? Justifier.

2. Étude de la formation des ions ammonium.

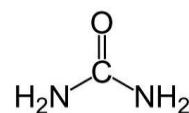
Doc1- Le cycle de l'urée ou cycle de l'ornithine est un cycle de réactions biochimiques chez divers animaux qui produisent de l'urée à partir de l'ammoniac, provenant de la dégradation terminale de trois acides aminés : l'arginine, la citrulline et l'ornithine,. L'urée est éliminée par l'urine. D'après wikipédia



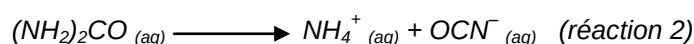
L'ornithine :



L'urée :



Doc2-L'urée, de formule $(NH_2)_2CO$, est un polluant de l'aquarium. Elle est contenue dans les déjections de certains poissons et conduit, au cours d'une réaction lente, à la formation d'ions ammonium NH_4^+ et d'ions cyanate OCN^- selon l'équation :



L'étude de la cinétique de cette réaction 2 peut être réalisée par conductimétrie. Pour cela on prépare un volume $V = 100,0 \text{ mL}$ d'une solution d'urée de concentration molaire en soluté apporté égale à $c = 0,020 \text{ mol.L}^{-1}$ et on suit sa décomposition en la maintenant dans un bain marie à 45°C . À différentes dates, on mesure la conductivité de la solution.

La conductivité σ de cette solution peut s'exprimer en fonction des concentrations des espèces ioniques en solution et des conductivités molaires ioniques (les ions H_3O^+ et HO^- (aq) sont en très faible quantité et pourront ne pas être pris en compte). On a donc la relation suivante :

$$\sigma = \lambda_{\text{NH}_4^+} [\text{NH}_4^+] + \lambda_{\text{OCN}^-} [\text{OCN}^-]$$

2.1. Donner la formule topologique de l'ornithine et identifier les groupes fonctionnels.

2.2 Montrer que la concentration de la solution en ions NH_4^+ (aq) peut être déterminée à partir de la mesure de la conductivité de la solution, les conductivités molaires ioniques étant connues.

2.3. Évolution du système chimique

2.2.1. Compléter littéralement le tableau descriptif de l'évolution du système, figurant **EN ANNEXE À RENDRE AGRAFÉE À LA COPIE**.

2.2.2. En déduire la relation, à chaque instant, entre la concentration en ions NH_4^+ (aq) en solution et l'avancement de la réaction.

2.2.3. Calculer l'avancement maximal x_{max} .

On peut ainsi représenter l'évolution de l'avancement de la réaction en fonction du temps (voir **figure 2 EN ANNEXE À RENDRE AGRAFÉE À LA COPIE**).

2.4. En poursuivant l'expérience pendant une durée suffisante, on obtient une concentration finale :

$$[\text{NH}_4^+]_f = 2,0 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1} . \quad \text{Cette transformation est-elle totale ?}$$

2.5. Dans l'aquarium, la valeur de la température est seulement de 27°C . Tracer sur la **figure 2 EN ANNEXE À RENDRE AGRAFÉE AVEC LA COPIE**, l'allure de la courbe précédente à cette température.

2.6. Les ions ammonium finissent par se transformer en ions nitrate dont l'accumulation risque de compromettre la vie des poissons. Ces derniers ions constituent un aliment essentiel pour les plantes vertes de l'aquarium. Expliquer pourquoi dans les livres d'aquariophilie, on dit que l'aquarium doit être "bien planté".

EXERCICE III – La communication chez les baleines (4 points)

Jeux, ruts, combats ou fuites, les baleines communiquent par leurs "chants". Sans cordes vocales, elles émettent des sons par leur larynx et leur évent. Ces messages peuvent pour les grandes espèces, être perçus à plusieurs centaines de kilomètres.

Pour communiquer entre elles, deux baleines doivent non seulement se trouver à une certaine profondeur dans un couloir d'une hauteur de quelques centaines de mètres, mais aussi à une certaine distance l'une de l'autre.

À partir des documents et de vos connaissances, évaluer :

1. la profondeur du couloir de communication ;
2. la distance maximale entre deux baleines pour qu'elles puissent communiquer.

L'ensemble de l'argumentation et des calculs doivent apparaître de manière détaillée.

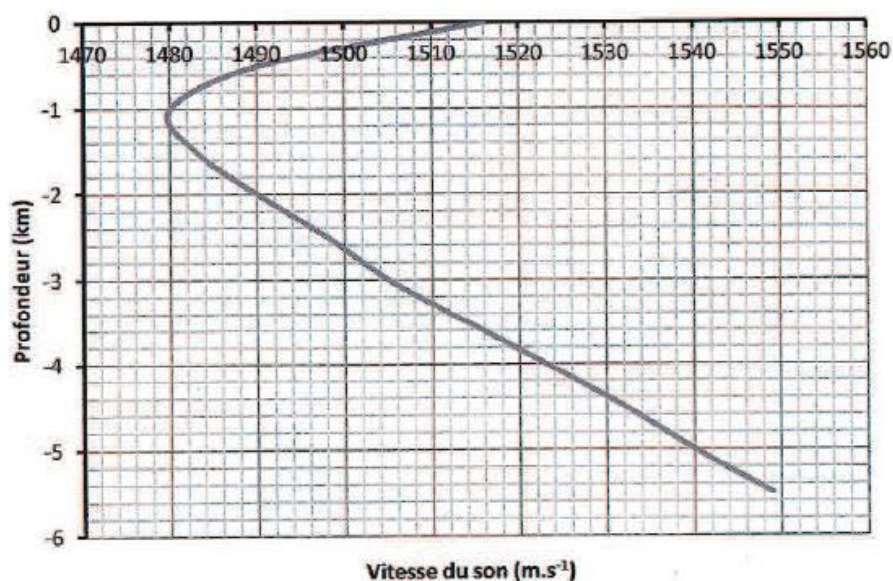
Document 1. LE SOFAR (SOund Fixing And Ranging), un guide d'ondes sonores

Dans les océans et dans certaines conditions, une onde sonore qui se dirige vers le haut est ramenée vers le bas dès qu'elle parvient dans les couches supérieures où la vitesse du son est plus grande ; à l'inverse, elle est ramenée vers le haut quand elle se dirige vers le bas dès qu'elle y rencontre des couches inférieures où la vitesse du son est supérieure. Quand une zone respecte ces critères, on parle de SOFAR.

Ce couloir SOFAR agit comme un guide d'ondes sonores comme illustré ci dessous.



Document 2. Cartographie de la vitesse du son en fonction de la profondeur dans l'océan



Document 3. "La voix et l'oreille" des mammifères marins

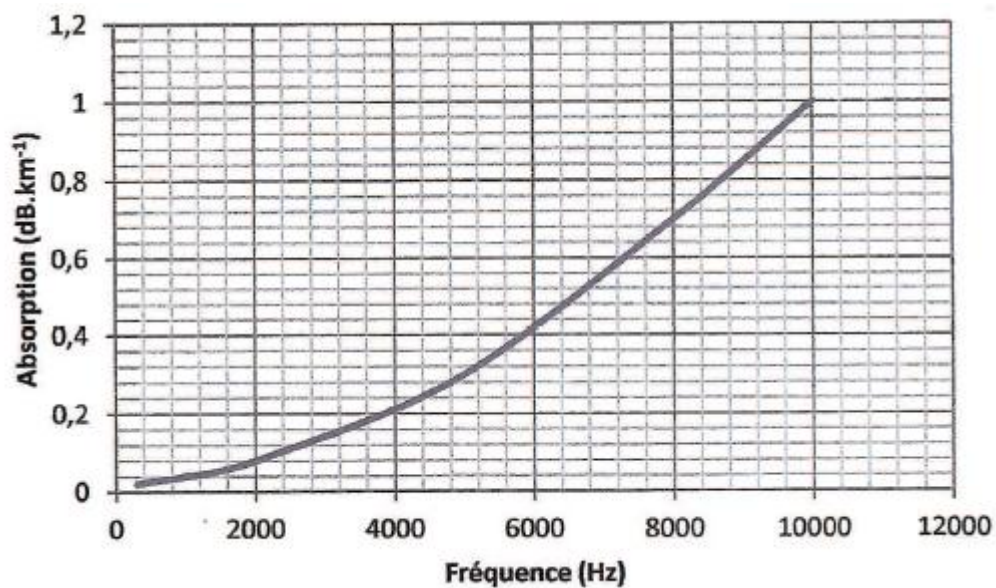
Les cétacés produisent des émissions sonores dans une très large bande de fréquence, entre 10 Hz et 150 kHz environ. Les sons produits peuvent être de type bref (clics, tics, bourdons,...) ou continu (sifflements, chants, mugissements).

Quelques émissions sonores de cétacés :

	Fréquence moyenne d'émission	Niveau d'intensité sonore moyen à l'émission	Seuil d'audibilité*
Baleine (chant)	4000 Hz	170 dB	50 dB
Grand dauphin (clics)	120 kHz	222 dB	40 dB

*Le seuil d'audibilité correspond au niveau d'intensité sonore minimal perceptible par l'animal.

Document 4. Absorption acoustique de l'eau de mer



ANNEXE À RENDRE AGRAFÉE À LA COPIE

2. Étude de la formation des ions ammonium.

Tableau d'évolution du système chimique

$(\text{NH}_2)_2\text{CO} (\text{aq}) = \text{NH}_4^+ (\text{aq}) + \text{OCN}^- (\text{aq})$				
État	Avancement (mol)	Quantités de matière (mol)		
		$(\text{NH}_2)_2\text{CO} (\text{aq})$	$\text{NH}_4^+ (\text{aq})$	$\text{OCN}^- (\text{aq})$
État initial	$x = 0$			
État en cours d'évolution	x			
État final en supposant la transformation totale	x_{max}			

Figure 2 : Cinétique de la décomposition de l'urée.

Avancement x en mol.

